

Schema zur Ladeinfrastrukturbewertung für Elektromobilität

Tim Hoerstedbrock
Axel Hahn

Veröffentlicht in:
Multikonferenz Wirtschaftsinformatik 2012
Tagungsband der MKWI 2012
Hrsg.: Dirk Christian Mattfeld; Susanne Robra-Bissantz



Braunschweig: Institut für Wirtschaftsinformatik, 2012

Schema zur Ladeinfrastrukturbewertung für Elektromobilität

Tim Hoerstebroek

OFFIS - Institut für Informatik, 26121 Oldenburg, E-Mail: tim.hoerstebroek@offis.de

Axel Hahn

Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Abteilung Business Engineering,
26129 Oldenburg, E-Mail: hahn@wi-ol.de

Abstract

Elektromobilität verspricht eine erhöhte Lebensqualität des Nutzers in Hinblick auf emissions- und lärmärmeres Fahren. Diesen Potenzialen stehen jedoch diverse Hürden, wie z.B. kurze Reichweiten und lange Ladezeiten der Fahrzeuge entgegen. Der Aufbau einer flächendeckenden Ladeinfrastruktur zur Überwindung der Hürden wird von zum Teil konkurrierenden Interessengruppen beeinflusst. Um die Planung eines Ladeinfrastruktur-layouts zu unterstützen, existiert bereits ein agentenbasiertes Simulationsframework. Für die Bewertung des Infrastrukturlayouts aus Sicht mehrerer Stakeholder benötigt dieses Framework ein Bewertungsschema, das die Interessen der einzelnen Gruppen quantitativ abbildet. Dieser Beitrag beschreibt die Entwicklung dieses Schemas inkl. dessen Formalisierung unter Zuhilfenahme einer durchgeführten Stakeholderanalyse.

1 Einleitung

Der Aufbau einer flächendeckenden Ladeinfrastruktur ist ein wesentlicher Bestandteil zur Marktdurchdringung der Elektromobilität. Dieser ist mit hohen Investitions- und Betriebskosten verbunden und muss Anforderungen mehrerer Interessengruppen effizient berücksichtigen. Die unterschiedlichen Zielkonflikte der Gruppen (z.B. eine hohe Verfügbarkeit an Ladestationen gegenüber einer höchstmöglichen Auslastung) müssen in den Aufbau eingehen. Ein weiterer Aspekt stellt die lange Amortisationsdauer dar, die sich durch die hohen Investitionskosten und den geringen Strompreisen ergibt. Diese steht einer flächendeckenden Installation entgegen [16].

Im Rahmen des vom BMVBS geförderten Bundesprogramms „Elektromobilität in Modellregionen“ wurde in der Modellregion Bremen/Oldenburg für die Untersuchungen von Verkehrskonzepten und Infrastrukturlayouts im Kontext der Elektromobilität ein agentenbasiertes Simulationsframework entwickelt. Bislang fehlte diesem Framework ein Bewertungsinstrument, das die Performanz der Ladeinfrastruktur beurteilt. Um zu diesen

quantitativen und qualitativen Aussagen zu gelangen, entwickelten wir ein Bewertungsschema, das die Ziele der beteiligten Interessengruppen geeignet abbildet. Für die Integration der Ergebnisse in die Simulation erfolgte die Identifikation der benötigten Modellparameter sowie die Formalisierung der Ergebnisse in Zielfunktionen. Bild 1 zeigt den Ablauf der Simulation und die Einordnung dieses Beitrags in den Gesamtkontext.

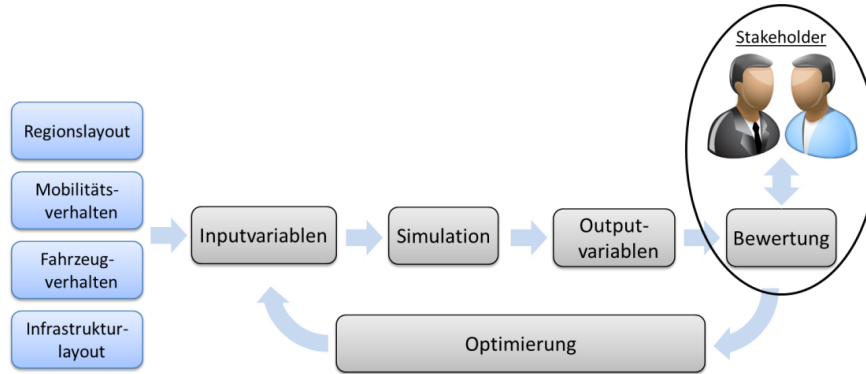


Bild 1: Aufbau der Simulationsablauf und Einordnung des Beitrags

Der Beitrag ist wie folgt aufgebaut: Abschnitt 2 erläutert die Stakeholderanalyse, die die Ziele der einzelnen Gruppen identifiziert und auf Grundlage aktueller Elektromobilitätsstudien durchgeführt wurde. Abschnitt 3 zeigt die Überführung dieser Ergebnisse in konkrete Kennzahlen und die Einordnung der Kennzahlen in einem geeigneten Bewertungsschema. Abschnitt 4 schließt den Beitrag mit einem Fazit und einem Ausblick ab.

2 Stakeholderanalyse im Kontext der Elektromobilität

Zunächst wird in Abschnitt 2.1 der Begriff Stakeholder näher erläutert und die Problematik der Abgrenzung in der Literatur sowie das methodische Vorgehen bei der Identifizierung dargestellt. In Abschnitt 2.2 erfolgt die konkrete Identifikation der Stakeholder inkl. der Priorisierung. Zuletzt findet in Abschnitt 2.3 eine Bewertung der Ziele hinsichtlich deren Fokussierung auf die Ladeinfrastruktur statt.

2.1 Methodisches Vorgehen

Eine Stakeholderanalyse wird in frühen Phasen der Projektplanung durchgeführt und erfasst wichtige Personen oder Personengruppen und deren Einflussfaktoren auf das Projekt. Im Vordergrund steht die Einbeziehung der Erwartungen und Bedürfnisse der Interessengruppen, um mögliche Hindernisse in Bezug auf den Projektverlauf zu erkennen und eine übersichtliche Darstellung eines komplexen Zusammenhangs zu erhalten [24]. Es stellt sich die Frage, welche Stakeholder als relevant für den Projektverlauf anzusehen und mit welchem Aufmerksamkeitsgrad diese zu berücksichtigen sind.

Der angewandte Ansatz beruht auf der Arbeit von Mitchell et al. [15] (weitere Vorgehen sind [9,10,13,19] zu entnehmen). Eine Beurteilung der Stakeholder und der bedarfsgerechten Berücksichtigungsgrade ist unter den drei Dimensionen Macht, Legitimität und Dringlichkeit durchzuführen. Den einzelnen Dimensionen und deren Überschneidungen ordnen Mitchell et al. unterschiedliche Stakeholderklassen zu, für die sie unterschiedliche Normstrategien definierten (s. Bild 2 links).

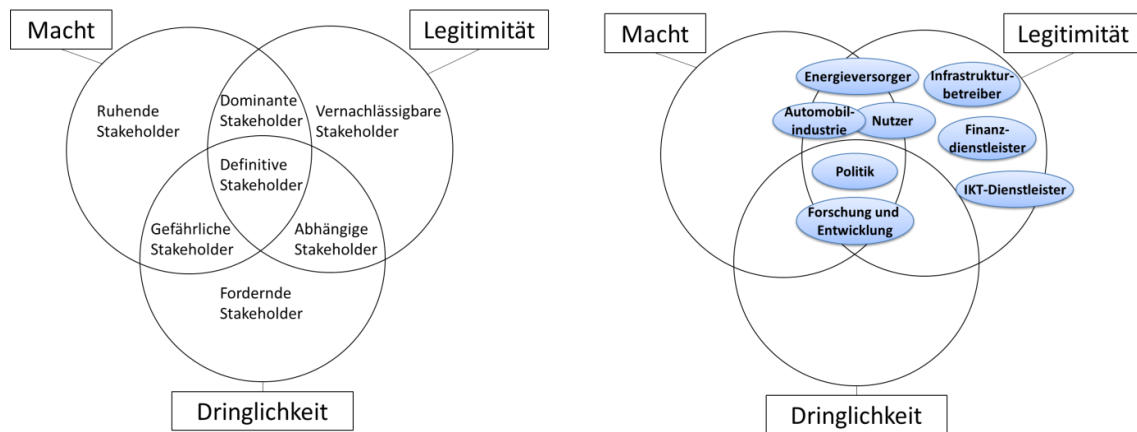


Bild 2: Stakeholderklassen und die konkrete Einordnung der relevanten Stakeholder (in Anlehnung an Mitchell et. al [11,15])

2.2 Identifikation der Stakeholder und deren Wichtigkeit für die Elektromobilität

Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass die Identifikation der Stakeholder und deren Einordnung in das dargestellte Schema (s. Bild 2 rechts) ein subjektiver Vorgang darstellt. Um dennoch ein objektives Bild zu schaffen, wurden aktuelle Studien und Beiträge zur Elektromobilität zur Strukturierung herangezogen [2,4,7,8,12,16–18,20].

Im Bereich der definitiven Stakeholder (Überschneidung aller drei Dimensionen) befinden sich die Politik und die Forschung und Entwicklung. Die Positionierung ist darin begründet, dass die politischen Entscheidungsträger sowohl Zugang zu Ressourcen zur Förderung von Forschungs- und Entwicklungsprojekten haben und die Legitimität besitzen diese Projektausschreibung zu tätigen. Durch das Ziel bis zum Jahr 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf deutsche Straßen zu bringen, ist ebenfalls die Dimension der Dringlichkeit gegeben. Durch die direkte Kopplung zwischen den Förderungsmaßnahmen der Politik und der Forschung- und Entwicklung, ergibt sich für diese die gleiche Einstufung.

Im Bereich der dominanten Stakeholder (Überschneidung Macht und Legitimität) wurden die Energieversorger, Automobilindustrie und Nutzer identifiziert. Diese spiegeln sich aus Sicht des Nutzers z.B. in dessen Kaufkraft und -willen von Elektrofahrzeugen und in der Nutzungsabsicht von bestimmten Dienstleistungen wider. Der Energieversorger und die Automobilindustrie stellen den nötigen Strom, die Fahrzeuge und ggf. die Ladeinfrastruktur zur Verfügung und stehen mit dem Nutzer im direkten Geschäftskontakt.

Die vernachlässigbaren Stakeholder (Dimension Legitimität) umfassen die IKT-Dienstleister, die Finanzdienstleister sowie die Infrastrukturbetreiber. Die Legitimität ist gegeben, da sie im Geschäftskontakt mit den anderen Stakeholdern stehen. Die fehlende Dimension Macht ist der Abhängigkeit der Dienstleister zu den Energieversorgern und der Automobilindustrie geschuldet.

2.3 Bewertung des Umfelds in Bezug auf dessen Einflussnahme auf den Erfolg der Elektromobilität

Dieser Abschnitt beschreibt die durchgeführte Promotorenanalyse zur Bewertung des Umfelds. Eine Promotorenanalyse wird im Projektmarketing eingesetzt, um die am Projekt beteiligten Interessengruppen zu priorisieren und die Strategien und Maßnahmen an dieses

Ranking auszurichten [1]. Ziel für diese Arbeit war es, die Einstellung eines Stakeholders zum Projekt (hier: Aufbau der Ladeinfrastruktur) im Verhältnis zu dessen Grad der Einflussnahme zu ermitteln. Auf dieser Grundlage identifizierten wir die Gruppen, die direkte Zielvorstellungen an die zu installierende Infrastruktur haben.

Drei verschiedene Kategorien (Promoter, Unentschlossen und Opponent) unterteilen die Interessengruppen (in Anlehnung an [1]). Diese bilden die Abszisse des Portfolios. Die Ordinate bildet den Einfluss auf das Projekt (Aufbau einer Ladeinfrastruktur) der Gruppen ab. Dieser reicht von der Kategorisierung A (starker Einfluss) bis C (geringer/keinen Einfluss). Bild 3 stellt das Ergebnis der Einordnung dar, die auf Grundlage einer detaillierten Analyse durchgeführt wurde (exklusive der vernachlässigbaren Stakeholder). Die folgenden Ausführungen fassen die Ergebnisse und die Begründungen der Einordnung zusammen.

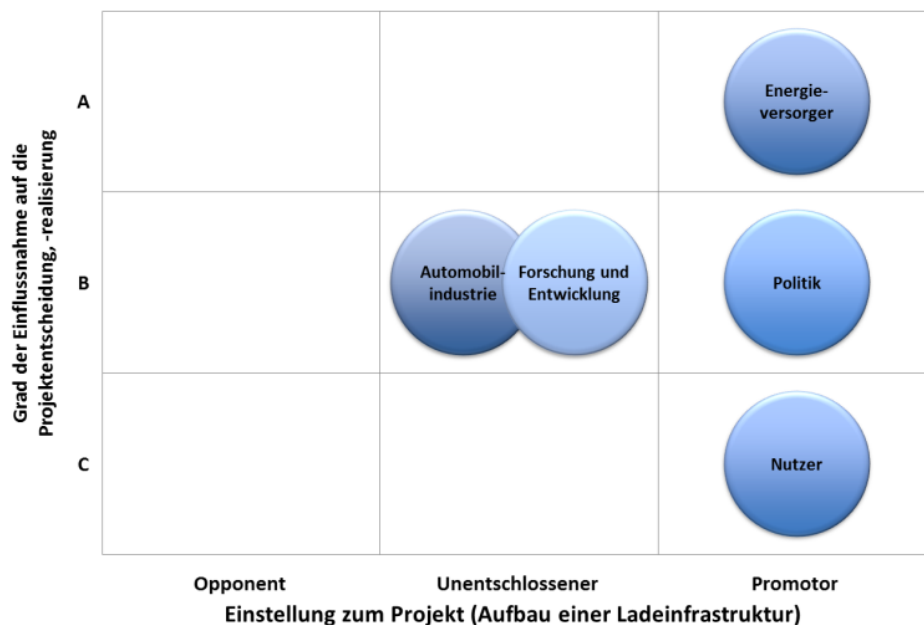


Bild 3: Stakeholder und ihre Einstellung zum Projekt (Aufbau einer Ladeinfrastruktur) im Verhältnis zum Grad der Einflussnahme

Der Nutzer befindet sich im Bereich der Promotoren, da die Ladeinfrastruktur als Notwendigkeit für ein annähernd gleiches elektromobiles Mobilitätsverhalten im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen angesehen wird. Die Stellung als Promotor lässt sich durch die Ängste und Bedenken in Form von Wartezeiten, unzureichenden Reichweiten und Pannen sowie den daraus abgeleiteten Anforderungen an die Ladeinfrastruktur begründen [20]. Darüber hinaus existiert nicht bei jedem Nutzer der häusliche Zugang zu einer Lademöglichkeit. Aus diesen beiden Gründen resultiert der Wunsch nach einer hohen Verfügbarkeit und Versorgungssicherheit durch eine zugängliche Ladeinfrastruktur [4,16]. Neben der Mobilitätsdeckung spielen ebenfalls Kostenfaktoren eine Rolle. Hier bestehen noch große Hürden. Laut der Nutzerbefragung von [2] ist 66% der Befragten die Anschaffung eines Elektrofahrzeugs zu teuer. Ergänzend resultiert aus ökonomischen Analysen der Erstnutzer von Elektrofahrzeugen, dass PKW-Nutzer aus Großstädten i.d.R. nicht ausreichend Kilometer zurücklegen, damit sich der Kauf eines Elektrofahrzeugs amortisiert. Auf den Aufbau, der Platzierung und technische Ausstattung hat der Nutzer keinen Einfluss (Gruppe C).

Die Interessengruppe mit dem stärksten Grad der Einflussnahme stellt die Gruppe der Energieversorger dar, die eindeutig als Promotoren einzustufen sind. Für die Energieversorger, genauso wie für die Automobilindustrie, stellt die Elektromobilität einen wichtigen Markt dar. Dies umfasst im Kern die Belieferung der Fahrzeuge mit Strom. Damit stehen direkte unternehmerische (ökonomische) Ziele hinter der Installation der Ladeinfrastruktur. Das Problem gerade bei öffentlichen Ladestationen liegt bei den hohen Investitionskosten (2.000 € - 20.000 € [16,23]) und bei dem niedrigen Strompreis (für Haushaltsstrom), der diese Kosten i.d.R. nicht deckt. Demzufolge ist eine rentable Ladeinfrastruktur mit einer hohen Auslastung und schnellen Amortisation von hohem Interesse. Zusätzlich ergibt sich eine Erweiterung der ursprünglichen Geschäftsfelder durch bspw. Dienstleistungen zur Sicherung der Mobilität [3], der V2G-Ansatz und/oder eine garantierte Versorgung der Ladestationen mit Strom aus erneuerbaren Energien [2].

Die Interessengruppen Automobilindustrie und Forschung und Entwicklung sind den „Unentschlossenen“ mit geringem bzw. indirektem Einfluss auf die Positionierung und die technische Ausstattung der Ladeinfrastruktur zuzuordnen. Diese lässt sich mit der Bereitstellung von Elektrofahrzeugen und deren technischen Eigenschaften (Reichweite, Ladedauer und Lebensdauer der Batterie) begründen [7,17,18,21,22]. Diese haben indirekt Einfluss auf die Notwendigkeit einer flächendeckenden Durchdringung der Infrastruktur, aber keinen Einfluss auf das Layout selbst. Zusätzlich haben die Gruppen durch die Standardisierungsprozesse indirekten Einfluss auf die technische Ausstattung der Ladestationen [8]. Bis auf der technischen Kompatibilität zwischen Fahrzeug und Ladestation ist keine Zieldefinition an das Infrastrukturlayout zu erkennen.

Die Politik ist ein weiterer Promotor mit mittlerem (indirektem) Einfluss. Der Status des Promotors erfolgt aus den Zielen der Emissionsreduzierung [6]. Der Einfluss der Politik liegt in der Schaffung rechtlicher und steuerlicher Rahmenbedingungen sowie in der Unterstützung der Forschung und Entwicklung. Diese Maßnahmen beeinflussen die anderen Stakeholder und den daraus resultierenden Infrastrukturaufbau. Über die Platzierung und Ausstattung der Ladeinfrastruktur hat sie ebenfalls nur indirekten Einfluss.

3 Bewertungsschema- und Zielfunktionsentwicklung zur Beurteilung von Infrastrukturlayouts

Nachdem die Stakeholder und deren Interessen am Aufbau der Ladeinfrastruktur beleuchtet wurden, überführten wir die Ergebnisse in konkrete Fall- und Kennzahlen und ordneten diese in ein Bewertungsschema ein.

3.1 Methodische Herleitung von Kennzahlen

Kennzahlen und Kennzahlensysteme sind für ein breites Spektrum an Funktionen verwendbar (Siehe dazu [14]). Dienen Kennzahlensysteme als Maßstab zur Ableitung von Entscheidungen und Handlungen, werden diese Systeme als Steuerungsinstrument bezeichnet. Im Gegensatz verfolgen Kennzahlensysteme mit Informationszweck grundsätzlich die Bereitstellung von „Daten, die für das Handeln wichtig sind“ [14]. Im Fokus der Arbeiten stand die Entwicklung von Beurteilungsgrößen (Informationszweck). Die Bildung von Gliederungszahlen zur Einordnung von Einzelgrößen in Gesamtmengen sowie der

Einsatz von Kennzahlen für Vergleiche ermöglichen die Beurteilung angegebener Größen und geben Anhaltspunkte für deren Entwicklung. Dadurch können Ursachen gefunden und begründet werden.

Zur Herleitung von Kennzahlen wurde die empirisch-induktive Gewinnung herangezogen. Die Entwicklung der Kennzahlen erfolgt aus empirischem Wissen oder Daten, wobei diese auf Expertenbefragungen, Plausibilitätsüberlegungen oder statistischen Auswertungen beruhen. Die Identifikation basierte auf der durchgeführten Stakeholderanalyse und den zugrundeliegenden Studien und Beiträgen.

3.2 Ableitung des Bewertungsschemas

Die Ableitung konzentriert sich im Folgenden auf die beiden Gruppen Nutzer und Energieversorger. Wie in Abschnitt 2.3 erläutert, ist der Energieversorger der Stakeholder mit dem größten Einfluss auf die Ladeinfrastruktur und ein klarer Promotor. Der Nutzer wurde in das Bewertungsschema mit aufgenommen, da eine direkte Abhängigkeit zwischen dessen Akzeptanz und dem Erfolg der Ladeinfrastruktur für den Energieversorger besteht. Die anderen Gruppen haben einen eher geringen bzw. indirekten Einfluss und wurden im Weiteren deshalb vernachlässigt.

3.2.1 Energieversorger

Die Anforderungen an die Ladeinfrastruktur seitens des Energieversorgers umfassen im Wesentlichen ökonomische Aspekte. Die Installation einer flächendeckenden Ladeinfrastruktur erfordert hohe Investitionen. Die Stakeholderanalyse ergab, dass eine Balance zwischen den hohen Investitionen einer Ladeinfrastruktur und der hohen Verfügbarkeit zu finden ist (vgl. Abschnitt 2.3). Eine schnelle Amortisation und eine hohe Auslastung stellen als Ergebnis primäre Optimierungskriterien dar. Beide Aspekte bilden die oberste Stufe des Kennzahlensystems. Laut der Definition von Amortisationszeit (Relation von Anschaffungskosten zu jährlichen Rückflüssen inkl. Abschreibungen und kalk. Zinsen [5]) sowie der Auslastung wurden die entsprechenden Fallzahlen diesen Stufen untergeordnet. Das Ergebnis der Ableitung ist Bild 4 zu entnehmen.

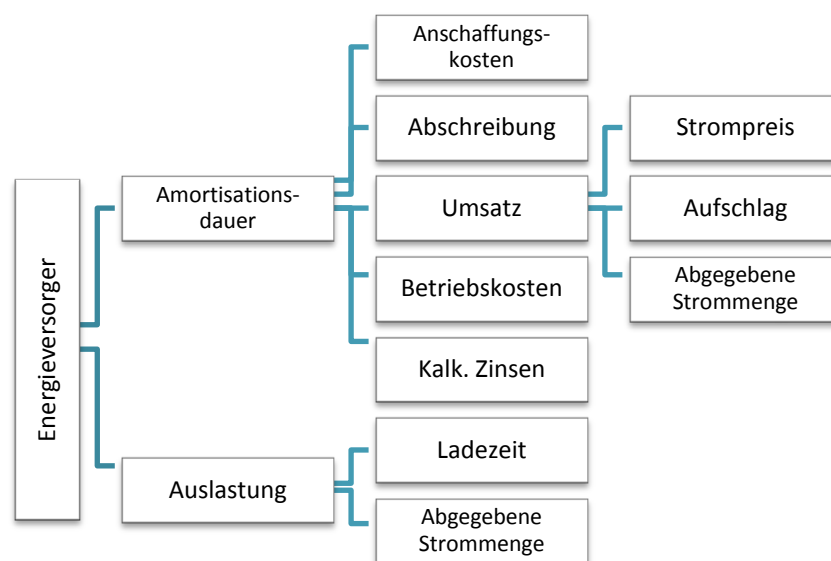


Bild 4: Bewertungsschema des Energieversorgers

3.2.2 Nutzer

Oberste Anforderung des Nutzers an die Elektromobilität ist die Gewährleistung einer annähernd gleich komfortablen Mobilität wie sie heutige konventionelle Fahrzeuge bieten. Zu den Hürden, die einer Akzeptanz der Elektromobilität seitens des Nutzers entgegenstehen, gehören die geringe Reichweite und die hohen Kosten bei der Anschaffung und beim Betrieb der Fahrzeuge. Eine hohe Verfügbarkeit von Lademöglichkeiten zur Deckung des Mobilitätsbedarfes ist erforderlich für Akzeptanzsteigerungen auf der Seite des Nutzers. Probleme mit der Verfügbarkeit lassen sich anhand drei Szenarien messen: (1) Der Nutzer muss an einer Ladestation warten, bis genug Energie vorhanden ist, um seine Fahrt durchführen zu können, (2) der Nutzer tritt seine Fahrt an, kann diese aber auf Grund unzureichender Energie nicht beenden (Ausfall) und (3) der Nutzer muss einen Umweg fahren/gehen, um sein Fahrzeug zu laden.

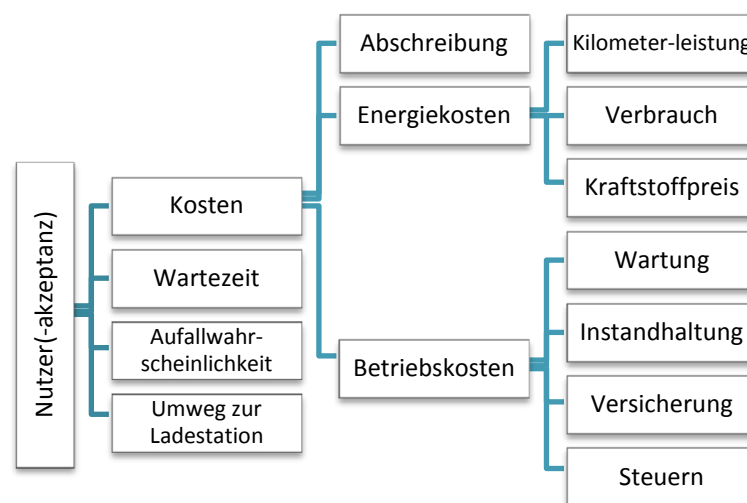


Bild 5: Bewertungsschema des Nutzers

Neben den Kosten fließen deshalb die Kennzahlen Wartezeit, Ausfallwahrscheinlichkeit und Umweg zu nächsten Ladestation in das Bewertungsschema ein. Bild 5 zeigt das komplette Bewertungsschema des Nutzers.

3.3 Ableitung von Zielfunktionen als Integrationsvorbereitung für das Simulationsframework

Um das Bewertungsschema in das Simulationsframework zu integrieren, überführten wir diese in formalisierte Zielfunktionen. Dazu erfolgte die Definition der formalen Elemente und Daten, die in die Simulation eingehen (Input) und die rudimentären Fallzahlen, die die Simulation berechnet (Output). Die abgeleiteten Zielfunktionen basieren auf diesen Daten und orientieren sich an der ersten Stufe des Bewertungsschemas.

3.3.1 Simulationsvariablen

Der Input wird in vier Kategorien unterteilt: allgemeine, fahrzeug-, mobilitäts- und infrastrukturspezifische Inputvariablen. Das Simulationsframework übernimmt die in Tabelle 1 dargestellten Variablen und führt die Fahrten sowie die Ladevorgänge (in Abhängigkeit der Verfügbarkeit der Ladestationen) jedes Fahrzeugs durch. Währenddessen berechnet

das Programm die dynamischen Laufzeitparameter und legt diese nach der Simulation strukturiert ab. Die berechneten Daten (Outputdaten) stellt Tabelle 2 dar. Die Auflistung beinhaltet die Variablen, die für die Zielfunktionsentwicklung notwendig waren. Eine vollständige Übersicht ist auf Grund des Umfangs nicht gegeben.

Allgemeine Inputvariablen	
$ZR = ZP_{Ende} - ZP_{start}$	Zeitraum in min
z	kalkulatorischer Zinssatz
Fahrzeugspezifische Inputvariablen	
f	Index der Fahrzeuge
F	Anzahl der Fahrzeuge
k_f	Kapazität von Fahrzeug f in kWh
v_f	Verbrauch von Fahrzeug f in kWh pro km
afa_f	Abschreibung von Fahrzeug f für den Zeitraum ZR
b_f	Betriebskosten für Fahrzeug f für den Zeitraum ZR
Mobilitätsspezifische Inputvariablen	
$X_f = (x_f, y_f)$	Startcoordinate von Fahrzeug f
$Y_f = (a_f, b_f)$	Zielcoordinate von Fahrzeug f
$d(X_f, Y_f)$	Distanz zwischen Start und Ziel von Fahrzeug f
ad_f	Aufenthaltsdauer von Fahrzeug f am Zielort
Infrastrukturspezifische Inputvariablen	
l	Index der Ladestationen
L	Anzahl der Ladestationen
w_l	Leistung von Ladestation l in kW
a_l	Anschaffungskosten/Startwert von Ladestation l am Anfang von Zeitraum ZR
afa_l	Abschreibung für Ladestation l für den Zeitraum ZR
$rw_l = a_l - afa_l$	Restwert von Ladestation l am Ende des Zeitraums ZR
s	Durchschnittlicher Strompreis im Zeitraum ZR
t	Durchschnittlicher Stromaufpreis im Zeitraum ZR
b_l	Betriebskosten für Ladestation l im Zeitraum ZR

Tabelle 1: Inputvariablen der Simulation

Fahrzeugspezifische Outputvariablen	
wd_f	Wartedauer des Fahrzeugs f im Zeitraum ZR
cd_{fl}	Ladedauer des Fahrzeugs f an Ladestation l im Zeitraum ZR
d_f	Gefahrene Distanz von Fahrzeug f
Infrastrukturspezifische Outputvariablen	
ld_l	Ladedauer von Ladestation l im Zeitraum ZR

Tabelle 2: Outputvariablen der Simulation

3.3.2 Zielfunktionsableitung

Für den Energieversorger werden die Amortisationsdauer und die Auslastung der Ladestationen als Zielgrößen (im Folgenden mit E gekennzeichneten Formeln) benötigt. Als erste Zielfunktion erfolgt die Minimierung der Amortisationsdauer.

$$\min \left(\frac{\text{Anschaffungskosten}}{\text{Abschreibung} + \emptyset \text{ Gewinn} + \text{kalk. Zinsen}} \right)$$

Nach Einsetzung der konkreten Eingangs- und Ausgangsvariablen entsteht:

$$\min \left(\frac{\sum_{l=1}^L a_l}{\sum_{l=1}^L af a_l + (s + t) * \sum_{l=1}^L st_l - \sum_{l=1}^L b_l + \sum_{l=1}^L (a_l - rw_l) * \frac{z}{2}} \right) \quad (\text{E1})$$

Für die abgegebene Menge an Strom der Ladestation st_l gilt:

$$st_l = w_l * ld_l$$

Als zweites gilt es die Auslastung der Ladestationen zu maximieren:

$$\max \left(\frac{\sum \frac{\text{Ladedauer von Ladestation } l}{\text{Betrachtungszeit}}}{\text{Anzahl Ladestationen}} \right) * 100 [\%]$$

Mit den konkreten Variablen gilt:

$$\max \left(\frac{\sum_{l=1}^L \left(\frac{ld_l}{ZR} \right)}{L} \right) \quad (\text{E2})$$

Für den Nutzer ergeben sich die vier Bereiche Kosten, Wartezeit, Umweg und Ausfallwahrscheinlichkeit als Zielgrößen (im Folgenden mit N gekennzeichneten Formeln).

Die Kosten als erste Zielgröße bestehen aus Abschreibungen, Energiekosten und Betriebskosten. Die Energiekosten sind abhängig vom Verbrauch der Fahrzeuge, der nachgefragten Menge an Strom und dem Strompreis. Die Betriebskosten beinhalten Kosten für die Wartung, Instandhaltung, Versicherung und Steuern. Es gilt für den Nutzer die Summe dieser Kosten zu minimieren.

$$\min \left(\sum_{f=1}^F (ge_f * t + e_f * s + b_f + af a_f) \right) \quad (\text{N1})$$

Die erhaltene Energie ge_f ist die Energie, die das Fahrzeugs f durch die Betankung an Ladestationen erhalten hat. Die Berechnung erfolgt laut folgender Formel:

$$ge_f = \sum_{l=1}^L cd_{fl} * w_l$$

Die verbrauchte Energie e_f ist abhängig davon, ob das Fahrzeug sein Mobilitätsverhalten abdecken konnte oder ob vor oder nach der Zielankunft die Energie für die Weiterfahrt nicht mehr ausgereicht hat. Es gilt:

$$e_f = \begin{cases} k_f, & k_f - d(X_f, Y_f) * v_f < 0 \\ k_f - d(X_f, Y_f) * v_f + g e_f, & k_f - d(X_f, Y_f) * v_f \geq 0 \text{ und } k_f - d(X_f, Y_f) * v_f * 2 + g e_f < 0 \\ d(X_f, Y_f) * v_f * 2, & k_f - d(X_f, Y_f) * v_f \geq 0 \text{ und } k_f - d(X_f, Y_f) * v_f * 2 + g e_f \geq 0 \end{cases}$$

Die Simulation berechnet die zweite Zielgröße Wartezeit direkt. Die Minimierung lautet:

$$\min \left(\sum_{f=1}^F w d_f \right) \quad (\text{N2})$$

Der Umweg der Fahrzeuge als dritte Zielgröße ergibt sich aus der Subtraktion der eigentlichen Strecke zum Zielort und zurück $d(X_f, Y_f)$ von der vom Simulationsframework aufgezeichneten zurückgelegten Strecke der Fahrzeuge d_f . Die Zielfunktion lautet:

$$\min \left(\sum_{f=1}^F (d_f - d(X_f, Y_f)) \right) \quad (\text{N3})$$

Die Ausfallwahrscheinlichkeit als letzte Zielgröße ist abhängig von der Relation der verbrauchten Energie e_f und der benötigten Energie ne_f . Der Ausfall bd_f von Fahrzeug f wird wie folgt beschrieben:

$$bd_f = \begin{cases} 0, & e_f \leq ne_f \\ 1, & e_f > ne_f \end{cases}$$

Es gilt:

$$ne_f = d(X_f, Y_f) * v_f * 2$$

Für die Zielfunktion der Ausfallwahrscheinlichkeit

$$\min \left(\frac{\text{Anzahl ausgefallener Fahrzeuge}}{\text{Anzahl sämtlicher Fahrzeuge}} \right)$$

ergibt sich für die konkreten Variablen:

$$\min \left(\frac{\sum_{f=1}^F bd_f}{F} \right) \quad (\text{N4})$$

4 Fazit und Ausblick

In diesem Beitrag wurden auf Grundlage einer Stakeholderanalyse die unterschiedlichen Interessengruppen der Elektromobilität untersucht und relevante Bewertungsmetriken und Zielfunktionen abgeleitet. Diese dienen als Erweiterung eines existierenden Simulationsframeworks zur Bewertung von Ladeinfrastrukturlayouts. Die Stakeholderanalyse basierte auf aktuellen Elektromobilitätsstudien, um ein objektives Bild der beteiligten Interessengruppen

zu erhalten. Es stellte sich heraus, dass Energieversorger und Nutzer relevante Akteure innerhalb der Simulation darstellen und diese zum Teil konfliktäre Ziele haben. Diese resultieren aus dem Spannungsfeld der geringen Rentabilität der Ladestationen und dem Bedarf an einer adäquat ausgebauten Ladeinfrastruktur. Insgesamt ist festzuhalten, dass die Interessenslagen nicht vollständig objektiv zu erfassen sind und sich im Laufe der Zeit aufgrund von z.B. technischen und sozio-ökonomischen Bedingungen zum Teil drastisch ändern können. Daher sind diese Ziele in regelmäßigen Abständen auf Korrektheit zu prüfen. Des Weiteren müssen die Ziele z.B. in eine einheitliche Nutzenskala übertragen werden, um den Trade-off Rentabilität und Verfügbarkeit der Ladeinfrastruktur bewerten zu können. Damit wird die Vergleichbarkeit von unterschiedlichen Szenarien gewährleistet sowie eine weitere Verwendung in nachgelagerten Verfahren (z.B. Kosten-Wirksamkeits-Analysen) ermöglicht. Zudem können auf dieser Grundlage auch Optimierungsalgorithmen entwickelt werden, die auf Grundlage der dargestellten Eingangsparameter und der entwickelten Zielfunktionen Optimierungen des Systems durchführen. Die Herstellung der Vergleichbarkeit der Ziele und der darauf aufbauenden Optimierung der Infrastrukturlayouts sind Gegenstand der zukünftigen Forschungsarbeiten.

5 Literatur

- [1] Adler A; Freidrich D; Kreßmann M; Verspohl O (2005): Projektmarketing. In: Litke H (Hrsg.), *Projektmanagement: Handbuch für die Praxis; Konzepte - Instrumente - Umsetzung*. Hanser, München [u.a.].
- [2] Arnold H; Kuhnert F; Kurtz R; Bauer W (2010): Elektromobilität. Herausforderungen für Industrie und öffentliche Hand. www.iao.fraunhofer.de/images/downloads/elektromobilitaet.pdf. Abgerufen am 23.11.2011.
- [3] Benjamin Wagner vom Berg; Köster F; Gómez JM (2010): Automotive. Elektromobilität: Gegenwart oder Zukunft? Förderung der Elektromobilität durch innovative Infrastruktur- und Geschäftsmodelle. In: Schumann M; Kolbe LM; Breitner MH; Frerichs A (Hrsg.), *Multikonferenz Wirtschaftsinformatik 2010*. Universitätsverlag Göttingen.
- [4] Biere D; Dallinger D; Wietschel M (2009): Ökonomische Analyse der Erstnutzer von Elektrofahrzeugen. *Zeitschrift für Energiewirtschaft* 33(2):173-181.
- [5] Blohm H; Lüder K; Schaefer C (2006): Investition. Schwachstellenanalyse des Investitionsbereichs und Investitionsrechnung. 9. Auflage. München.
- [6] Bundesministerium für Umwelt NuR (2011): Klimaschutzpolitik in Deutschland. http://www.bmu.de/klimaschutz/nationale_klimapolitik/doc/5698.php. Abgerufen am 21.12.2011.
- [7] Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (2010): Wie Deutschland zum Leitanbieter für Elektromobilität werden kann. Status Quo - Herausforderungen - offene Fragen. Springer, Berlin.
- [8] Deutsche Bundesregierung (2009): Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung. http://www.bmbf.de/pubRD/nationaler_entwicklungsplan_elektromobilitaet.pdf. Abgerufen am 21.12.2011.
- [9] Donaldson T; Preston LE (1995): The Stakeholder Theory of the Corporation: Concepts, Evidence, and Implications 20(1):65-91.

- [10] Freeman RE (1984): Strategic management. Pitman, Boston.
- [11] Gerum JK (2009): Stakeholder-Management bei Projektentwicklungsunternehmen im Bauwesen. vdf Hochschulverl. AG an der ETH, Zürich.
- [12] Hoberg P; Leimeister S; Jehle H; Krcmar H (2010): Elektromobilität 2010. Grundlagenstudie zu Voraussetzungen der Entwicklung von Elektromobilität in der Modellregion München.
http://www.fortiss.org/fileadmin/user_upload/FB3/Grundlagenstudie_Elektromobilitaet2010_fortiss_final.pdf. Abgerufen am 23.11.2011.
- [13] Janisch M (1993): Das strategische Anspruchsgruppenmanagement: von Shareholder Value zum Stakeholder Value. Haupt, Bern [u.a.].
- [14] Küpper H (2005): Controlling: Konzeption, Aufgaben, Instrumente. 4. Auflage. Schäffer-Poeschel.
- [15] Mitchell RK; Agle BR; Wood DJ (1997): Toward a Theory of Stakeholder Identification and Salience: Defining the Principle of Who and What Really Counts 22(4):853-886.
- [16] Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) (2011): Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität. http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/bericht_emob_2.pdf. Abgerufen am 21.12.2011.
- [17] Oliver Wyman (2009): Oliver Wyman-Studie „Elektromobilität 2025“. Powerplay beim Elektrofahrzeug. http://www.oliverwyman.com/de/pdf-files/ManSum_E-Mobility_2025.pdf. Abgerufen am 23.11.2011.
- [18] Pehnt M; Höpfner U; Merten F (2007): Elektromobilität und erneuerbare Energien. http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/elektromobilitaet_ee_arbeitspapier.pdf. Abgerufen am 21.12.2011.
- [19] Savage GT; Nix TW; Whitehead CJ; Blair JD (1991): Strategies for assessing and managing organizational stakeholders 5(2):61-75.
- [20] Schenk M; Seidel H; Ebert R (2010): Konfiguration einer Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge. Industrie Management 26(6):53-56.
- [21] Scherfke S; Schütte S; Wissing C; Niese A; Tröschel M: Simulationsbasierte Untersuchungen zur Integration von Elektrofahrzeugen in das Stromnetz. In: Kreusel JW (Hrsg.), *E-Mobility. Technologien - Infrastruktur - Märkte; VDE-Kongress 2010 Leipzig, 8. - 9. November 2010 Congress Center Leipzig; Kongressbeiträge*. VDE-Verl, Berlin.
- [22] Schill W (2010): Elektromobilität: Kurzfristigen Aktionismus vermeiden, langfristige Chancen nutzen. http://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.358259.de/10-27-1.pdf. Abgerufen am 21.12.2011.
- [23] Spath D; Bauer W; Rohfuss F; Voigt S; Rath K (2010): Strukturstudie BWe mobil - Baden-Württemberg auf dem Weg in die Elektromobilität. <http://www.iao.fraunhofer.de/images/studien/strukturstudie-bwe-mobil.pdf>. Abgerufen am 23.11.2011.
- [24] Tiemeyer E (2005): Projektumfeldanalyse - Stakeholdermanagement. In: Litke H (Hrsg.), *Projektmanagement: Handbuch für die Praxis; Konzepte - Instrumente - Umsetzung*. Hanser, München [u.a.].